



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**VYUŽITÍ TERMOKAMERY PRO ANALÝZU TEPELNÝCH  
ZTRÁT**

APPLICATION OF THERMAL CAMERA FOR ANALYSIS OF HEAT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

David Palička

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. František Lízal, Ph.D.

**BRNO 2016**



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **David Palička**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. František Lízal, Ph.D.**  
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Využití termokamery pro analýzu tepelných ztrát

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student vypracuje rešerši současného stavu poznání v oblasti využití termografie pro analýzu tepelných ztrát. Zaměří se přitom na parametry klíčové pro korektní vyhodnocení teplot a provede odhad vlivu těchto parametrů na nejistotu měření. Poté student provede měření skladovacích nádrží asfaltových pojiv a aplikuje nastudované znalosti při analýze tepelných ztrát a návrhu opatření ke snížení energetické náročnosti nádrží.

### Cíle bakalářské práce:

Zjištění a porovnání tepelných ztrát skladovacích nádrží asfaltových pojiv.  
Návrh opatření ke snížení tepelných ztrát na posuzovaných skladovacích nádržích.

### Seznam literatury:

Pavelek, M., Štětina, J. (1997): Experimentální metody v technice prostředí. Skripta. VUT Brno.  
Pavelek, M., Janotková, E., Štětina, J. (2001): Vizualizační a optické měřicí metody. Hypertextová skripta FSI VUT. Brno.  
Vědecké články zaměřené na termografii

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Student vypracuje rešerši současného stavu poznání v oblasti využití termografie pro analýzu tepelných ztrát. Zaměří se přitom na parametry klíčové pro korektní vyhodnocení teplot a provede odhad vlivu těchto parametrů na nejistotu měření. Poté student provede měření skladovacích nádrží asfaltových pojiv a aplikuje nastudované znalosti při analýze tepelných ztrát a návrhu opatření ke snížení energetické náročnosti nádrží.



## **ABSTRAKT**

V této bakalářské práci se zabývám analýzou tepelných ztrát skladovacích nádrží asfaltových pojiv. K provedení této práce jsem použil teorii bezkontaktního měření teploty pomocí termovizní kamery. V první části je stručně zachycena historie, teorie a základní principy bezkontaktního měření teploty. V druhé části je seznámení s nastavením termovizní kamery a v části třetí seznámení s funkcí obalovny asfaltových směsí a funkcí skladovacích nádrží asfaltových směsí. V poslední praktické části je proveden rozbor samotného měření. Cílem této práce bylo porovnání uniku tepla ve skladovacích nádržích vyhřívaných termálním olejem a elektrickým termočlánkem.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Bezkontaktní měření teploty, termovizní kamery, emisivita, obalovna asfaltových směsí, zásobníky asfaltových pojiv

## **ABSTRACT**

Within this bachelor degree thesis I have focused on the thermal losses from storage tanks serving as asphalt binders. I have used the theory of non-contact temperature measurements using a thermovision camera. In the first part of this document I deal with the history, theory and some basic principles of non-contact temperature measurements. In the second part I am examining the thermovision camera settings. The third part considers the function of the asphalt mixture production plant itself, as well as the function of storage tanks. In the last part of this thesis I analyze the results of the measurements. The goal of this analysis is to compare results of thermal losses from storage tanks heated with thermal oil, and storage tanks heated with an electrical thermocouple

## **KEYWORDS**

Non-contact measurement temperature, thermal camera, emissivity, asphalt mixtures production plant, cistern for asphalt mixture





## **Bibliografická citace**

PALIČKA, D. *Využití termokamery pro analýzu tepelných ztrát*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 54s. Vedoucí bakalářské práce Ing. František Lízal, Ph.D.



## Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Využití termokamery pro analýzu tepelných ztrát jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne:

.....  
podpis autora



## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Františku Lízalovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Michalu Jurkovi a Ing. Jiřímu Teleckému za možnost spolupráce se společností Skanska a.s. Vřelé díky patří především p. Stanislavu Francovi ze společnosti Skanska a.s. za zprostředkování praktického měření a cenné praktické rady v oblasti obaloven asfaltových směsí. Poslední díky patří společnosti ASKOM a.s. jmenovitě p. Lud'ku Bartákovi a p. Pavlu Svobodovi za poskytnutí informací o skladovacích nádržích asfaltových pojiv.

V Brně dne:

.....  
podpis autora



## Obsah

1	Úvod.....	17
2	Základy bezkontaktního měření.....	18
2.1	Historie.....	18
2.2	Využití infračerveného záření v historii.....	18
2.3	Historické milníky v termografii.....	19
2.4	Teorie Infračervené pyrometrie.....	19
2.5	Absolutně černé těleso .....	21
2.6	Bezkontaktní měření teploměry .....	23
2.6.1	Princip bezkontaktního měření teploty .....	23
2.6.2	Použití bezkontaktního měření teploty .....	23
2.6.3	Přesné měření teploty.....	24
2.6.4	Odvětví využití bezkontaktního měření teploty.....	24
3	Termovizní kamery.....	25
3.1	Princip funkce termovizní kamery .....	25
3.2	Složení termovizní kamery .....	26
3.2.1	Čočky .....	26
3.2.2	Displeje .....	26
3.2.3	Detektor a zpracovávací elektronika.....	26
3.2.4	Ovládání.....	26
3.2.5	Zařízení pro ukládání dat .....	27
3.2.6	Software pro zpracování dat a generování zpráv .....	27
3.3	Základní nastavení termovizní kamery .....	28
3.3.1	Emisivita .....	28
3.3.2	Odražená teplota okolí .....	29
3.3.3	Vzdálenost .....	29
3.3.4	Zorný úhel.....	29
3.3.5	Atmosféra.....	30
3.4	Postup měření.....	30
3.5	Nejistoty měření .....	30
3.5.1	Nejistota měření typu A .....	30
3.5.2	Nejistota měření typu B .....	30
3.6	Protokoly o termovizním měření .....	30
4	Přenos tepla.....	31
4.1	Přenos tepla vedením (kondukcí).....	31
4.2	Přenos tepla prouděním (konvekcí) .....	32
4.3	Prostup tepla.....	33
5	Tepelné ztráty .....	34
5.1	Tepelné mosty .....	34
5.2	Kouty.....	35
6	Obalovna asfaltových směsí .....	36
6.1	Technologie výroby obalovaných živičných směsí .....	36
6.2	Nádrže pro skladování asfaltových pojiv .....	39
6.2.1	Elektricky vyhřívané nádrže .....	39
6.2.2	Termálním olejem vyhřívané nádrže .....	41
6.2.3	Kombinovaně vyhřívané nádrže .....	41
7	Praktická část práce .....	42
8	Závěr.....	49

9	Přehled literatury .....	50
	Seznam obrázků .....	52
	Seznam tabulek .....	53
	Seznam symbolů .....	54



## 1 Úvod

Jako téma bakalářské práce jsem si vybral Využití termokamery pro analýzu tepelných ztrát, hlavně z důvodu toho, že mi společnost Skanska a.s. plně poskytla termovizní kameru a také možnost provést měření na jejich skladovacích nádržích.

V dnešní době je bezkontaktní měření teploty velkým přínosem, zejména z důvodů zjišťování tepelných ztrát a diagnostiky závad, aniž bychom museli zasahovat do provozu.

Hlavní cílem této bakalářské práce je obecné seznámení, jak s teorií bezkontaktního měření teploty, tak i seznámení se samostatnými skladovacími nádržemi. Dále také provedení praktického měření a odhadu tepelných ztrát na skladovacích nádržích.

V první části je zachycena historie, teorie a základní principy bezkontaktního měření teploty. V druhé části je seznámení s funkcí a nastavením termovizní kamery. V části třetí je popsána funkce obalovny asfaltových směsí a také samotná funkce skladovacích nádrží asfaltových poživ. Obsahem poslední části je praktické měření.

## 2 Základy bezkontaktního měření

### 2.1 Historie

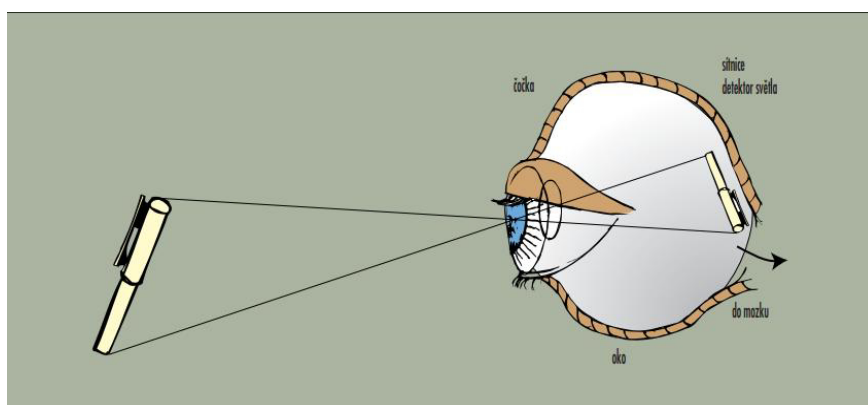
Lidské oko vidí pouze malý zlomek energie, která je vyzářena (emitována) sluncem a vnímáme ji jako světelné záření. Kdybychom však mohli vnímat infračervené záření emitované všemi tělesy, viděli bychom velmi dobře ve tmě. Infračervené záření je lidským okem neviditelné. Infračervené záření mohou vyzařovat například i předměty, které jsou chladnější než okolní prostředí.

Bezdotykové snímače teploty využívají snímání energie infračerveného záření pro měření teploty objektů na dálku. Snímač měří teplotu objektu po určení vlnové délky záření emitovaného tímto objektem. Tato vlnová délka se určuje pomocí rovnic popisujících vliv materiálu tělesa a vliv kvality jeho povrchu. [1]

### 2.2 Využití infračerveného záření v historii

Za pomyslný teploměr, který pracuje na principu detekce záření, bychom mohli považovat lidské oko. Lidské oko obsahuje čočku, která soustřeďuje emitované záření na sítnici. Sítnice je zářením podrážděna a vysílá signál do mozku, který slouží jako indikátor záření. Pokud má mozek předešlou zkušenost, dokáže převést tento signál na hodnotu teploty.

Lidé využívali princip infračerveného záření po staletí, např. keramika vyrobená před tisíciletími dokazuje, že se slunce využívalo pro zvýšení teploty materiálů při výrobě forem a stavebních prvků. Egypťané využívali energie slunce pro výrobu hlíněných cihel na pyramidy. Řemeslníci vyráběli kovové předměty, jako byly různé pily, klíny sečné nástroje a podobné nástroje pomocí znalosti na jakou teplotu ohřát kov, aby se dal dobře zpracovávat. S největší pravděpodobností to dokázali na základě zkušenosti s barvou ohřátého kovu. V novější době byli odborní řemeslníci také nuceni spoléhat na svůj smysl a zkušenosti. Zrak se používal při výrobě a zpracování oceli, při výrobě a zpracování skla, formování vosku a při výrobě keramiky. Dále se například pomocí zraku odhadovala teplota v pecích. Zrak se používá jako nástroj techniky stále ve všech zemích světa. Evropští sklenáři rozhodují podle zraku o připravenosti skla ke tváření. [1]



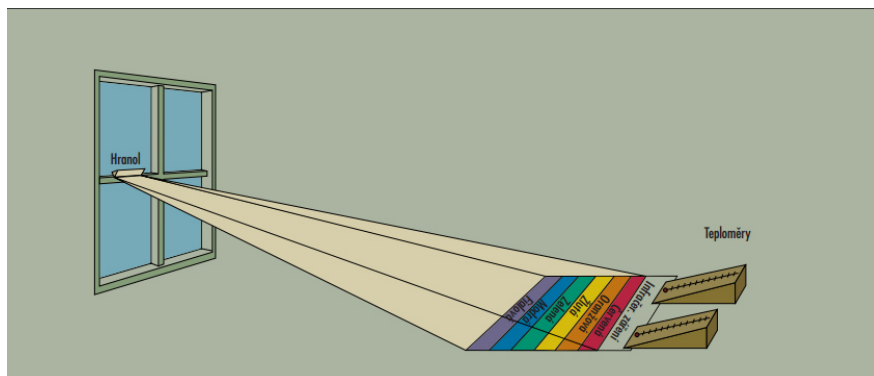
Obrázek 1: Lidské oko jako infračervený teploměr

Zdroj: [1]

### 2.3 Historické milníky v termografii

1564-1642 Vynalezl Galileo Galilei první teploměr.

1704 Vydal Sir Isaac Newton knihu Optika, ve které popsal experiment použití hranolů, aby dokázal, že světlo lze rozložit do barevného spektra. Nejméně zalomenou částí byla červená složka, dále pak oranžová, žlutá, zelená, modrá, indigová a fialová, každá postupně přecházející v další.



**Obrázek 2: Rozptyl infračerveného záření**

**Zdroj:** [1]

1800 William Herschel se zabýval Newtonovým experimentem použití hranolů. U toho experimentu použil jako první rtuťový teploměr. Tímto experimentem dospěl k hypotéze o existenci neviditelných infračervených tepelných vln.

1859 Gustav Robert Kirchhoff odvodil obecnou rovnici teorie emise a radiace, která říká, že schopnost látky emitovat energii je rovna schopnosti záření pohlcovat.

1876 Odvozen podle Maxwellovy elektromagnetické teorie Stefanův-Boltzmannův zákon, který udává vyzařování absolutně černého tělesa.

1901 Vydán první patent týkající se radiační termometrie. Přístroj používal termoelektrické čidlo a výstupem byl elektrický signál.

1931 Na trh uvedeny první komerčně dostupné termometry. Tyto přístroje byly široce používány k zaznamenávání a řízení průmyslových procesů. Používají se dodnes, především pro nízkoteplotní aplikace.

První moderní radiační teploměry byly dostupné až po druhé světové válce. První infračervené fotodetektory obsahovaly sulfid olovnatý a původně byly vyvinuté pro vojenské účely zejména pro noční vidění a tepelné navádění střel. [2]

### 2.4 Teorie Infračervené pyrometrie

Veškerá hmota - živá nebo neživá, tekutiny, pevné látky, plyny, si trvale vyměňují se svým okolím tepelnou energii ve formě elektromagnetické radiace. Pokud je mezi daným objektem a jeho okolím teplotní rozdíl, bude se energie přenášet ve formě tepla. [1]

Bezdotykové měření teploty (též označováno jako infračervená pyrometrie) je měření povrchové teploty těles na základě emitovaného elektromagnetického záření tělesem a přijímaného detektorem záření vlnové délky v rozsahu od 4-25  $\mu\text{m}$ . Elektromagnetické záření s vlnovou délkou 2-25  $\mu\text{m}$  se označuje jako tepelné záření. [2]

Emitovanou energii popisují zákony:

Pro teplo vyzařované z povrchu těles:

### Stefan-Boltzmannův zákon

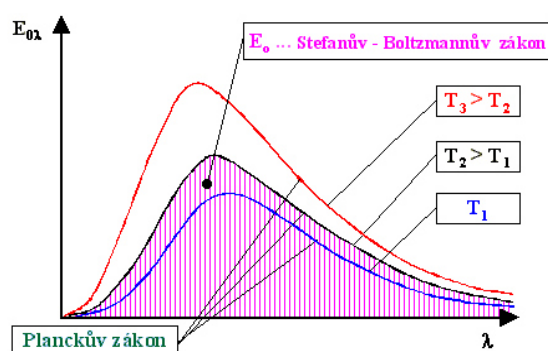
Každé těleso, které má nenulovou absolutní teplotu září, přičemž hustota zářivého toku je úměrná čtvrté mocnině absolutní teploty. [3]

$$W = \delta \varepsilon T^4$$

$\delta = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$  (Stefan – Boltzmannova konstanta)

$\varepsilon$  – emisivita (pro černé těleso rovna 1)

$T$  – absolutní teplota tělesa [K]



Obrázek 3: Stefanův-Boltzmannův zákon

Zdroj: [3]

Pro hodnotu vlnové délky s maximální radiací  $\lambda_m$  na povrchu tělesa platí:

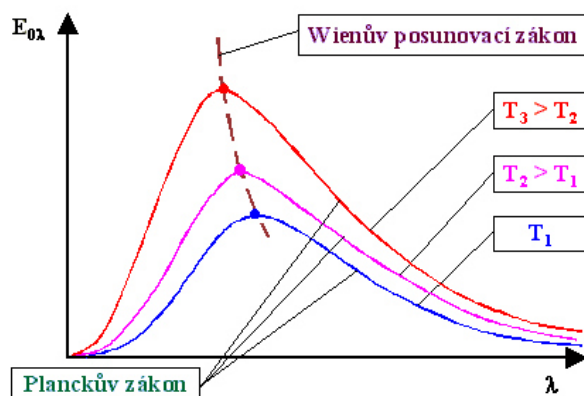
### Wienův posunovací zákon,

který konstatuje, že s rostoucí teplotou zářiče se posouvá maximální hodnota spektrální hustoty zářivého toku ke kratším vlnovým délkám. [3]

$$\lambda_m = \frac{b}{T}$$

$\lambda_m$  = vlnová délka s maximální hodnotou radiace [ $\mu\text{m}$ ]

$b$  – Wienova konstanta = 2897 [ $\mu\text{m} \cdot \text{K}$ ]



Obrázek 4: Wienův posunovací zákon

Zdroj: [3]

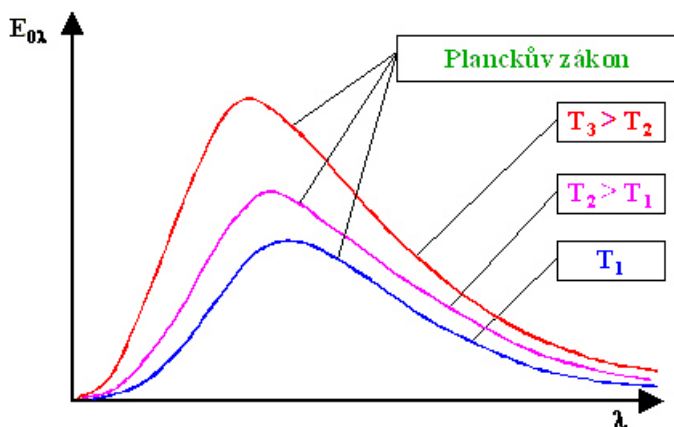
Zdroje elektromagnetického záření vyzařují svou energii po kvantech:

### Planckův vyzařovací zákon

Záření o frekvenci  $f$  může být vyzařováno, nebo pohlcováno jen po kvantech energie o velikosti  $e$ . [3]

$$e = hf$$

$$h = (6,6256 \pm 0,0005) \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

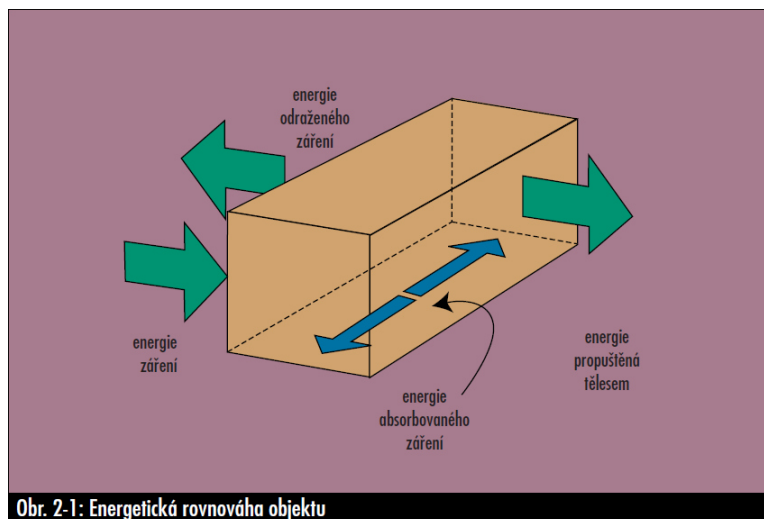


Obrázek 5: Planckův vyzařovací zákon  
Zdroje: [3]

Z hlediska charakteristiky IR radiace rozlišujeme tři typy povrchů těles: černého tělesa, šedého a naředěného (tzv. reálného nebo spektrálního tělesa). [4]

## 2.5 Absolutně černé těleso

Na Obr. 6 je znázorněno absolutně černé těleso. Černé těleso je definováno jako objekt, který dopadající záření může buď absorbovat, odrazit, nebo záření může objektem procházet (pokud není neprůhledný) a to bez ohledu na vlnovou délku záření. Pokud má objekt konstantní teplotu, potom musí být výkon emitovaného záření stejný jako výkon absorbovaného záření. V opačném případě se objekt ochlazuje (vyzařování je větší než absorpce) nebo zahřívá (absorpce je větší než vyzařování). Proto pro tělesa s konstantní teplotou platí, že absorpce, odraz a propouštění jsou v rovnováze. [5]



Obr. 2-1: Energetická rovnováha objektu

Obrázek 6: Energetická rovnováha objektu  
Zdroj: [1]

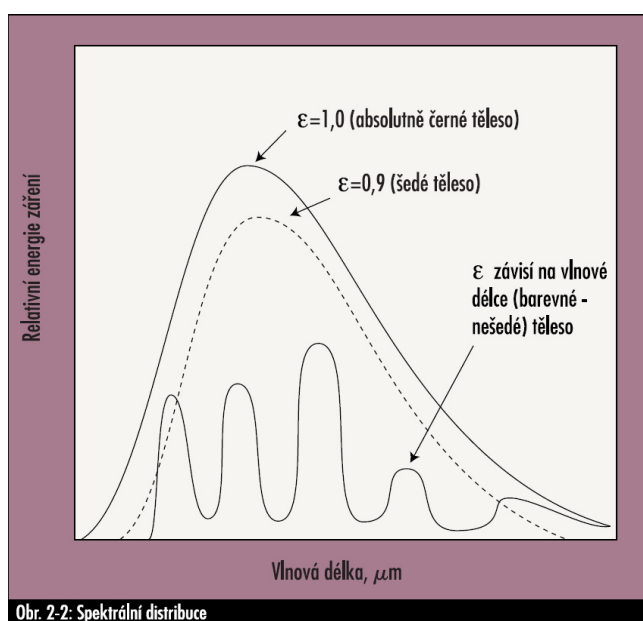
Základem radiační termometrie je koncepce absolutně černého tělesa. V roce 1860 definoval Kirchhoff absolutně černé těleso jako povrch, který záření neodráží ani nepropouští, ale pouze veškeré dopadající záření absorbuje, nezávisle na jeho směru a vlnové délce. U reálného tělesa se podíl pohlceného záření nazývá absorpce  $\alpha$ . [1]

## 2. Kirchhoffův zákon

V tepelné rovnováze je objekt takovým zářičem, jak dokáže záření pohlcovat. Proto emisivita  $\varepsilon$  na povrchu (poměrná zářivost) je stejná jako absorptivita  $\alpha$  (poměrná pohltivost). [3]

$$\varepsilon = \alpha$$

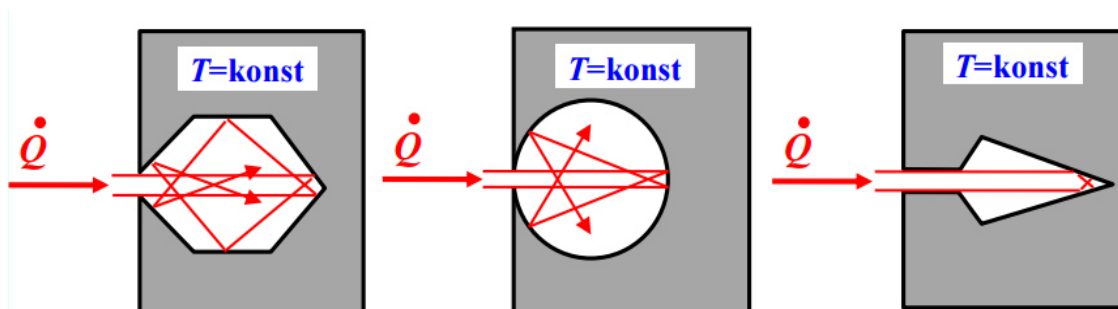
Pro absolutně černé těleso je absorptivita rovna 1. Pro reálná tělesa platí  $0 \leq \alpha \leq 1$ . [1]



Obrázek 7: Spektrální distribuce

Zdroj: [1]

Konstrukci absolutně černého tělesa lze definovat charakteristikami otvoru vytvořeného v izotermní dutině neprůhledného absorbujícího materiálu. Pokud tuto dutinu opatříme vhodným zdrojem tepla, stane se z ní takzvaný dutinový zářič. Dutina zahřátá na konstantní teplotu vytváří záření černého tělesa, ale charakteristika záření je určována pouze teplotou dutiny. Tyto dutinové zářiče se velmi často používají jako zdroj záření pro kalibraci přístrojů využívajících infračervené záření. [5]



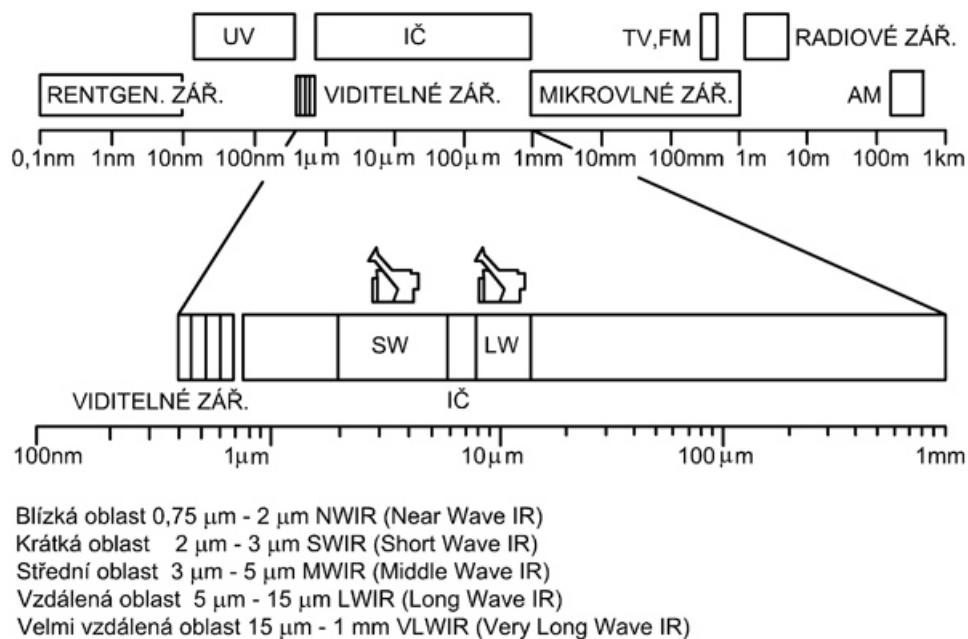
Obrázek 8: Realizace černého tělesa pomocí dutin

Zdroj: [3]

## 2.6 Bezkontaktní měření teploty

### 2.6.1 Princip bezkontaktního měření teploty

Bezkontaktní teploměry zachycují neviditelnou infračervenou energii, kterou přirozeně emitují všechny předměty. Infračervené záření je součástí elektromagnetického spektra v rozsahu 0,7-1000  $\mu\text{m}$ , které zahrnuje radiové vlny, mikrovlny, viditelné světlo, ultrafialové a gama záření, rentgenové paprsky. Infračervená energie spadá mezi viditelné světlo spektra a radiové vlny. Pro běžné měření se využívá pásmo 0,7-14  $\mu\text{m}$ . [4]



Obrázek 9: Rozsah spektra

Zdroj: [5]

### 2.6.2 Použití bezkontaktního měření teploty

Použití bezkontaktních teploměrů je cenným nástrojem pro kontrolu a provádění zkoušek stavebních objektů. Slouží k odhalování toho, kde a jakým způsobem uniká tepelná energie. Dále je častým použitím sběr dat pro vyhodnocení provozních podmínek těžko přístupných míst, ve kterých pracují různá zařízení. Těmito zařízeními mohou být topení, větrání, klimatizace, nebo také různá elektrická a mechanická zařízení. Výhodou použití bezkontaktních teploměrů je zkoumání právě těchto zařízení při plném zatížení.

[17]

### 2.6.3 Přesné měření teploty

Úspěšnost měření ovlivňuje několik faktorů. Nejdůležitějším z nich jsou emisivita, teplota okolního prostředí, atmosféra, vzdálenost a zorný úhel. Předpokladem pro přesná měření je dostatečné pochopení bezkontaktního měření a jeho principů jako jsou přestupy tepla, termodynamika, optika a elektronika. V důsledku toho se může tato technologie jevit příliš složitě a omezit její použití. Nicméně, kvalifikovaný personál při správném použití dokáže získat jedinečné informace, které odhalí mnohé problémy. Jejich řádnou analýzou lze dosáhnout vhodných řešení a také finanční úspory. [17]

### 2.6.4 Odvětví využití bezkontaktního měření teploty

**Energetika** - diagnostika tepelné techniky, údržba elektrických zařízení (jističů, rozvaděčů), kontrola izolace potrubí

**Průmysl** - měření teplot odlitků a těles ve slévárenství, sklárství, diagnostika motorů

**Zdravotnictví** - diagnostické metody v plastické chirurgii, při poruchách prokrvení zánětů končetin, nádorů

**Stavebnictví** - teplotní ztráty budov, kontrola kvality zateplení, topení

[6]



Obrázek 10: Využití bezkontaktního měření teploty ve stavebnictví

Zdroj: [4]



Obrázek 11: Využití bezkontaktního měření teploty ve zdravotnictví

Zdroj: [3]



### 3 Termovizní kamery

Termovizní kamery (jiní autoři používají termín termální zobrazovače) pracují na stejném principu jako pyrometry. Jediným zásadním rozdílem je, že pyrometr měří pouze teplotu jednoho daného bodu (nebo také průměrnou teplotu velmi malé plochy). Termovizní kamery mohou měřit větší rozsah ploch. Naměřené informace poté převádí na obrazovku v určité škále barev.

Termovizní kamery lze dělit dle několika kritérií. Příkladem může být rozdělení dle způsobu zobrazování a to na: a) kamery s rozkladem obrazu - scannery a b) bez rozkladu obrazu - s maticovými detektory. Dalším typem dělení mohou být například kamery pro krátkou a dlouhou vlnovou vzdálenost.

V dnešní době se výrobou termovizních kamer zabývá velké množství světových výrobců, příkladem mohou být FLUKE, Jenoptik, InfraTec a mnoho dalších.

[3]

#### 3.1 Princip funkce termovizní kamery

Infračervené záření je pomocí optiky soustředováno na detektor, který reaguje na změnu napětí nebo odporu, tuto změnu zaznamenává elektronika v termovizní kameře. Signál z termovizní kamery je převeden na elektronický obraz, takzvaný termogram, na displeji. Termogram je obraz zpracovaný tak, že jsou jednotlivé barvy zobrazeny na displeji v závislosti na vlnových délkách infračerveného záření z měřeného povrchu.[9]



Obrázek 12: Princip funkce termálního zobrazovače

Zdroj: [9]

## 3.2 Složení termovizní kamery

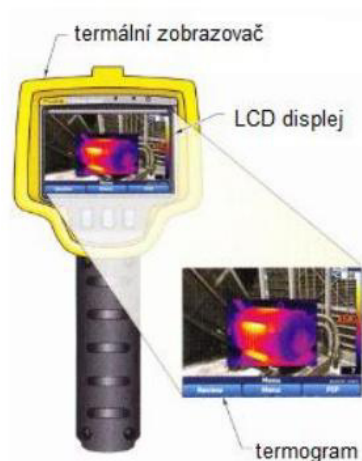
Obecně každá termovizní kamera obsahuje několik daných částí. Každá z těchto částí může být upravena pro různé typy a značky kamer, avšak jejich funkce je stejná.[9]

### 3.2.1 Čočky

Každá termovizní kamera má alespoň jednu čočku. Hlavní funkcí této čočky je soustřeďovat záření na detektor termovizní kamery. Čočky většiny dlouhohvlnných kamer jsou vyrobeny z germania. Tenký antireflexní potah zlepšuje přenos záření přes čočku. Existují i kamery s více čočkami, které se používají především pro armádní a bezpečnostní účely. Výhodou kamer s více čočkami je rozšíření zorného pole.[9]

### 3.2.2 Displeje

Displej z tekutých krystalů neboli LCD displej zobrazuje termogram. Požadavky na displej jsou především kvalitní osvětlení a dobrá čitelnost. Nezbytnou součástí musí být dobrá zobrazitelnost snímků v barevné paletě. Dále také může displej informovat o stavu baterie, datu a času. [9]



Obrázek 13: LCD displej

Zdroj: [9]

### 3.2.3 Detektor a zpracovávací elektronika

Detektor je polovodičová součástka, která v závislosti na napětí nebo odporu detekuje měřitelnou odezvu. Tato odezva je zpracována elektronikou a převedena na termogram. [9]

### 3.2.4 Ovládání

Každá termovizní kamera obsahuje také tlačítka na ovládání, kterými lze nastavovat různé parametry. Těmito parametry mohou být například emisivita, rozsah teplot, barevná paleta a prolínání obrazu.[9]

### 3.2.5 Zařízení pro ukládání dat

Termovizní kamera obsahuje integrované úložiště například paměťovou kartu. Na tuto kartu jsou ukládána veškerá data z kamery. Mnoho kamer umožňuje ukládat i zvukové či textové informace nebo reálný snímek k termografu.[9]

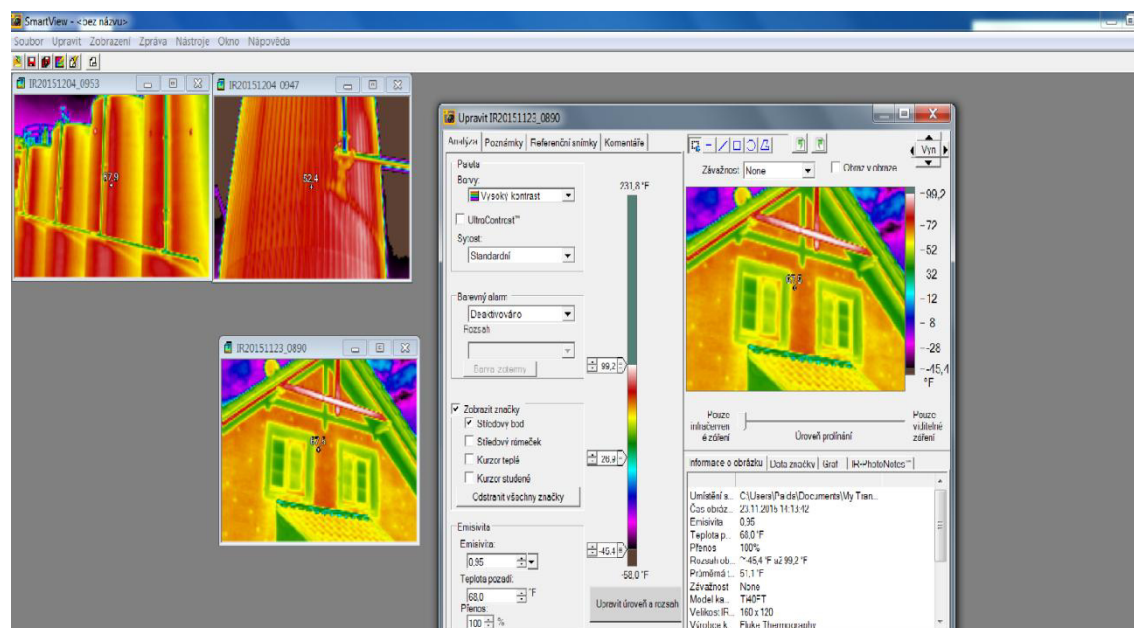


Obrázek 14: Základní části termálního zobrazovače

Zdroj: [9]

### 3.2.6 Software pro zpracování dat a generování zpráv

Pomocí integrovaného paměťového zařízení lze snadno termogramy importovat do PC. Při zakoupení jakékoliv termovizní kamery obdržíte software, ve kterém můžete dané termogramy dále zpracovávat a vytvářet protokoly. Příkladem je software SmartView firmy FLUKE. [9]



Obrázek 15: Program SmartView

Zdroj: vlastní obrázek

Specifikace	Parametr
<b>Termální zorné pole</b>	20 mm objektiv 23° x 17°
	10,5 mm objektiv 42° x 32°
	54 mm objektiv 9°x 6°
<b>Prostorové rozlišení</b>	1,3 mrad
<b>Minimální vzdálenost ostření</b>	0,15 m
<b>Teplotní citlivost</b>	≤0,05 °C (50mK) při 30°C
<b>Získání dat z detektoru</b>	60 Hz
<b>Zaostření</b>	SmartFocus, nepřetržité ostření
<b>Infračervený digitální zoom</b>	2x, 4x, 8x
<b>Typ detektoru</b>	320x240 ohniskový rovinný svazek
<b>Spektrální pásmo</b>	8 μm až 14 μm
<b>Kalibrovaný teplotní rozsah</b>	-20°C až 600°C ve 3 rozsazích
<b>Přesnost</b>	±2°C nebo 2%
<b>Korekce emisivity</b>	0,1 až 1 (přírůstky po 0,01)
<b>Provozní teplota</b>	-10°C až 50°C
<b>Relativní vlhkost</b>	Provoz skladování 10% až 90% nekondenzující

Tabulka 1: Příklad specifikace kamery Fluke Ti55

Zdroj: [10]

### 3.3 Základní nastavení termovizní kamery

Jak již bylo zmiňováno, termovizní kamery měří a zobrazují emitované infračervené záření. Toto infračervené záření však nezávisí pouze na povrchové teplotě objektu, ale také na emisivitě.

Nejen daný objekt, ale také okolní prostředí vyzařují infračervené záření. Tato infračervená záření okolního prostředí se mohou od měřeného objektu odrážet a mohou dané měření ovlivnit.

Tyto účinky je nutné kompenzovat pro přesná měření teploty. U většiny kamer se kompenzace provádí automaticky, do kamery je však nutné zadat jisté parametry objektu.

#### 3.3.1 Emisivita

Emisivita je nejdůležitějším parametrem, který musí být správně zadán. Emisivita je poměr množství emitované energie daného objektu a emitované energie dokonale černého tělesa. [5]

Hodnoty emisivity běžných materiálů	
Materiál	Emisivita
Hliník leštěný	0,05
Cihla běžná	0,85
Litina	0,81
Beton	0,54
Ocel galvanická	0,28
Ocel silně zoxidovaná	0,88
Sklo	0,92
Měď leštěná	0,01
Barva průměrná olejová	0,94
Papír černý matný	0,94
Guma	0,93
Asfaltový papír	0,92
Voda	0,98
Elektrikářská páska	0,95

Tabulka 2: Hodnoty emisivity běžných materiálů

Zdroj: [9]

Zajímavostí jsou například neoxidované kovy. Tyto kovy jsou případem vysoké odrazivosti, která se téměř nemění v závislosti na vlnové délce. Proto je emisivita kovů nízká a zvyšuje se pouze s teplotou. Naopak nekovy mají větší emisivitu, která se s teplotou snižuje. Jako další zajímavost můžeme uvést, že lidská pokožka má emisivitu blízkou 1. [5]

### 3.3.2 Odražená teplota okolí

Odražená teplota okolí se jako parametr používá ke kompenzaci odraženého záření od měřeného objektu a záření, které vyzařuje samostatný objekt. Je-li například nízká emisivita, velká vzdálenost a teplota měřeného objektu blízká teplotě okolního prostředí je nezbytné teplotu okolního prostředí nastavit a kompenzovat. [5]

### 3.3.3 Vzdálenost

Vzdálenostní účinek je také faktor ovlivňující měření, a může mít vliv na vyhodnocení výsledků. Rozlišení termografického snímku měřeného předmětu klesá se zvětšující se vzdáleností. Každý bod na snímku odpovídá specifické ploše předmětu. Zvýšením vzdálenosti dochází k tomu, že každý bod tvoří větší plochu. V důsledku zvětšení této plochy je emitované záření zprůměrováno a detail je ztracen. [17]

### 3.3.4 Zorný úhel

Dalším ovlivňujícím faktorem je zorný úhel. Sledování objektu v ostrém úhlu znamená méně informací, než při řádném zorném úhlu. V tomto případě mohou být informace dále zkresleny v závislosti na povrchu materiálu a jeho schopnosti vyzařovat různými směry. [17]

### 3.3.5 Atmosféra

Atmosféra má z těchto vlivů nejmenší podíl na nepřesnost měření. Zdrojem chyb mohou být velké částice v atmosféře. Příkladem těchto částic jsou vodní páry, oxid uhličitý, nebo také prachové částice. [17] Vliv atmosféry lze s vysokou přesností kompenzovat například externím změřením vlhkosti a teploty. Naměřené hodnoty poté zadáme do termokamery, popřípadě upravíme termogram v PC programu. [11]

### 3.4 Postup měření

K tomu, abychom dosáhli co nejpresnějších informací ze snímku, je důležité dodržet správný postup při měření. Obecný postup nastavení a měření termovizní kamerou udává každý výrobce v manuálu. Avšak je velice důležité uvědomit si, že výsledky měření závisí na daném objektu a okolnostech měření, jako je například okolní teplota, intenzita proudění vzduchu a teplota okolního prostředí. Důležitou částí je také zjištění co nejvíce informací o měřeném objektu a jeho funkci. [11]

### 3.5 Nejistoty měření

Nejistota měření je definována jako parametr, který souvisí s výsledkem měření a charakterizuje interval hodnot. V tomto intervalu se nachází hodnota naměřená i skutečná. Maximální odchylka od skutečné hodnoty může být právě velikost toho intervalu. Snahou při měření je tedy tuto odchylku co nejvíce minimalizovat. Nelze však zajistit nulovou odchylku. Nejistota obsahuje několik složek a uvádí veškeré nepřesnosti výsledku měření. Nejistoty měření jsou zahrnuty do platných mezinárodních norem ISO nebo i do evropských norem EN. Tyto normy vyžadují uvádění nejistot měření v kalibračních certifikátech. [13]

#### 3.5.1 Nejistota měření typu A

Tuto metodu lze také nazývat, jako statické zpracování naměřených údajů. Metoda je založena na statické analýze opakované série měření, a je podobná náhodným chybám. Měření je opakováno více než jedenkrát. Odhad výsledné hodnoty je poté hodnotou aritmetického průměru. Příslušná nejistota k odhadu se určí jako směrodatná odchylka výběrového průměru. Hodnota nejistoty typu A, klesá s počtem měření. [13]

#### 3.5.2 Nejistota měření typu B

Takzvané jiné, než statické zpracování naměřených údajů. Tato metoda je podobná systematickým chybám, lze ji také použít pro odhad vlivu chyb náhodných. Nejistota typu B se určuje racionálním úsudkem na základě dostupných informací. Příkladem mohou být údaje výrobce měřicího přístroje, zkušenosti z předchozích měření, z kalibrace přístroje, z příruček pro měření nejistot nebo také certifikátů. [13]

### 3.6 Protokoly o termovizním měření

Z teorie o měření termovizní kamerou vyplývá, které hodnoty je třeba zaznamenávat. Tyto hodnoty se zaznamenávají do daných tabulek, z nichž se poté vytvářejí protokoly.

Protokoly mohou být dále doplněny snímky, které byly předtím zpracovávány v počítačovém softwaru.

Protokoly by měly obsahovat:

- Jméno technika.
- Značku, model a sériové číslo termovizní kamery.
- Vliv prostředí (vlhkost a teplota vzduchu).
- Nastavení parametrů (emisivita, teplota pozadí).
- Identifikace kontrolovaných zařízení
- Termovizní snímky kontrolovaných zařízení
- Vyhodnocení tepelných ztrát a navržení patřičných opatření eliminace tepelných ztrát [3]

TERMOVIZNÍ MĚŘENÍ		Objekt:						Číslo listu:	
Kamera: VarioCAM		Rozsah: až [°C]				Objektiv:		Datum:	
Záběr:	Okolí	$T_i$ [K]	Prostředí	Pozadí	$T_z$ [K]	Část objektu	$T$ [K]	$\varepsilon$ [-]	Poznámka:
	Vpředu		$T_L =$ [K]						
	Vpravo		$\phi_L =$ [%]						
	Vlevo		$t_L =$ [-]						
	Nahoře		Vzdálenost						
	Dole		$L =$ [m]						
Záběr:	Okolí	$T_i$ [K]	Prostředí	Pozadí	$T_z$ [K]	Část objektu	$T$ [K]	$\varepsilon$ [-]	Poznámka:
	Vpředu		$T_L =$ [K]						

Obrázek 16: Příklad tabulky protokolu o termovizním měření

Zdroj: [3]

## 4 Přenos tepla

Přenos tepla je děj, kdy dochází k předávání tepelné energie mezi soustavou a okolím nebo mezi dvěma soustavami. Termodynamika vychází z předpokladu, že soustava je v tepelné rovnováze se svým okolím. K přenosu tepla mezi soustavou a jejím okolím dochází pouze tehdy, když soustava není v teplotní rovnováze s jejím okolím. Nutnou podmínkou tedy je, že musí existovat teplotní rozdíl nebo teplotní gradient mezi soustavou a jejím okolím. [15]

Mezi tři mechanismy přenosu tepla patří vedení (kondukce), proudění (konvekce) a záření (radiace, sálání). [16]

### 4.1 Přenos tepla vedením (kondukcí)

Přenos tepla vedením je výměna energie na rozhraní sousedících částic látky. Kinetická energie neuspořádaného pohybu molekul se předává srážkami mezi sousedícími molekulami. Tímto způsobem dochází k přenosu tepelné energie. Vedení je typickým způsobem přenosu tepla v pevných látkách. Vedení se ale může vyskytnout i v tekutinách bez proudění. V tekutinách zvyšují vedení tepla volné elektrony nebo ionty. [16]

Množství přeneseného tepla udává tepelný tok, který je definován Fourierovým zákonem. Tepelný tok je intenzita přeneseného tepla v čase. [16]

Pro jednorozměrné vedení tepla má Fourierův zákon tvar:

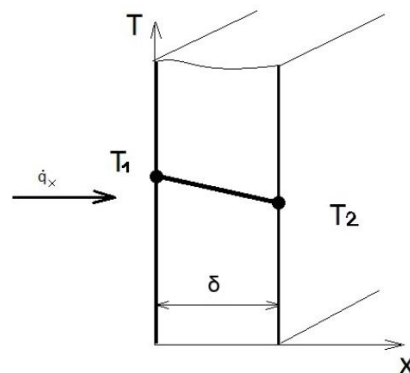
$$\dot{q} = \lambda \frac{\Delta T}{\delta}$$

kde

$\dot{q} [Wm^{-2}]$  – hustota tepelného toku

$\lambda [Wm^{-1}K^{-1}]$  – součinitel tepelné vodivosti

[15]



Obrázek 17: Schéma vedení tepla stěnou

Zdroj: [15]

Je zřejmé, že tepelný tok závisí na rozdílu teplot (teploty povrchů ohraničujících stěnu o šířce  $\delta$ ), součiniteli tepelné vodivosti a vzdálenosti mezi oběma povrchy. To však platí obecně. Řešit můžeme konkrétně přenos tepla stěnou o ploše  $S$ , trubkou o délce  $L$  a koulí o poloměru  $R$ . V každém z těchto případů závisí tepelný tok na geometrii. [15]

## 4.2 Přenos tepla prouděním (konvekci)

Proudění je způsob přenosu tepla založený na dvou mechanismech - náhodný pohyb molekul (difúze) a přemísťování vzduchových hmot daných vlastností (advekce). Tyto dva mechanismy probíhají současně, proto výsledný přenos tepla je dán jejich superpozicí. Příkladem může být proudění tekutiny kolem omezujícího povrchu, kdy teploty tekutiny a povrchu mají odlišnou hodnotu.

Přenos tepla prouděním rozdělujeme podle toho, zda dojde ke změně skupenství nebo ne. Konvekce, při které dochází ke změně skupenství, je var nebo kondenzace. V případě že skupenská změna nenastane, dělíme konvekci na nucenou (umělé vytváření proudění) nebo přirozenou (proudění vzduchu v atmosféře). Za daných podmínek můžeme uvažovat konvekci kombinovanou. Nucenou konvekci můžeme dále dělit na konvekci při vnějším a vnitřním proudění. Příkladem nucené konvekce při vnějším proudění je automobil obtékáný vzduchem v aerodynamickém tunelu. Ostatní případy, kdy nedochází ke konvekci při vnějším proudění, označujeme za konvekci přirozenou. [15]

Newtonův ochlazovací zákon popisuje hustotu tepelného toku při všech typech konvekce a má tvar:



$$\dot{q} = \alpha(T_w - T_\infty)$$

kde

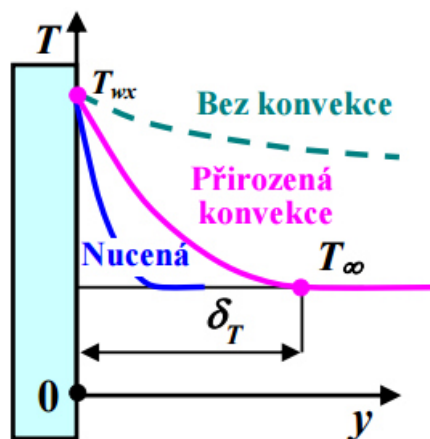
$\dot{q} [Wm^{-2}]$  – hustota tepelného toku

$\alpha [Wm^{-2}K^{-1}]$  – součinitel přestupu tepla

$T_w [K]$  – teplota povrchu obtékaného tělesa

$T_\infty [K]$  – teplota tekutiny v dostatečné vzdálenosti od povrchu

Při proudění tekutiny okolo povrchu vzniká mezní vrstva. Tvar této vrstvy se mění s rychlostí proudění tekutiny. [16]



Obrázek 18: Příklady tepelných mezních vrstev

Zdroj: [16]

### 4.3 Prostup tepla

Prostup tepla je proces výměny tepla mezi dvěma tekutinami, které jsou odděleny pevnou přepážkou. Teplá tekutina na jedné straně přepážky předává konvekcí teplo přepážce. Teplo je dále přenášeno kondukcí přes přepážku až na její opačný povrch. Dále je opět teplo přeneseno konvekcí do studené tekutiny. [15]

Pro výpočet prostupu tepla lze použít rovnici:

$$\dot{q} = U(T_H - T_C)$$

kde

$$U = \frac{1}{R_t}$$

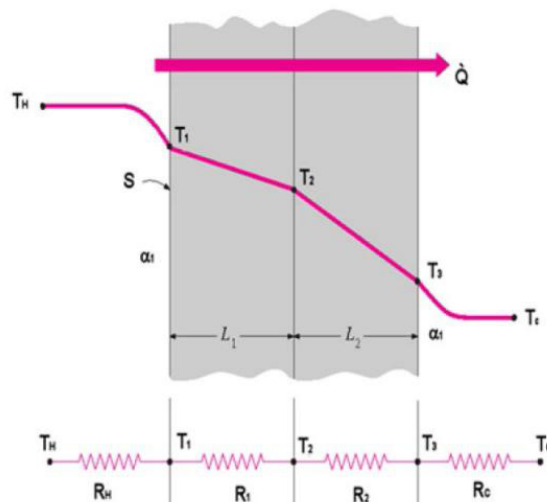
$T_H [K]$  – teplota teplé tekutiny

$T_C [K]$  – teplota studené tekutiny

$U [Wm^{-2}K^{-1}]$  – součinitel prostupu tepla

$R_t [m^2KW^{-1}]$  – odpor konstrukce při přestupu tepla [15]

Hodnota součinitele prostupu tepla definuje vlastnosti materiálů, ze kterých je daný objekt složen. Čím nižší hodnota tohoto součinitele je, tím lepší jsou vlastnosti materiálů objektu. Výpočet součinitele prostupu tepla vychází z normy ČSN EN ISO 6946. [18]



Obrázek 19: Schéma prostupu tepla ve výměníku

Zdroj: [15]

## 5 Tepelné ztráty

Pokud uvažujeme tepelnou ztrátu vytápěného prostoru, potom je tato ztráta rovna součtu tepelné ztráty větráním a tepelné ztráty prostupem. Tepelná ztráta prostupem je množství tepla, které projde konstrukcí objektu důsledkem rozdílných teplot na vnější a vnitřní straně objektu. Velikost tepelné ztráty je závislá na ploše, kterou teplo prostupuje, na součiniteli prostupu tepla a na rozdílu teplot. Tepelná ztráta větráním závisí na množství vyměněného vzduchu v daném objektu. [18]

### 5.1 Tepelné mosty

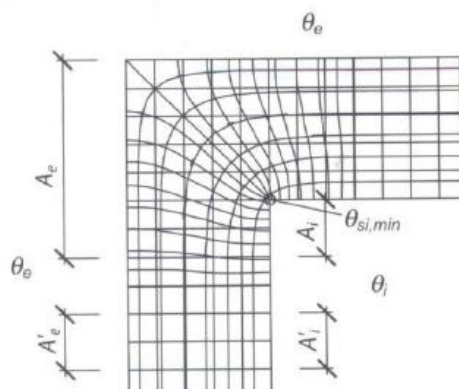
Tepelný most je část konstrukce, kde je tepelný odpor významně změněn. Tato změna může být způsobena například materiálem s odlišnou tepelnou vodivostí nebo změnou tloušťek vrstev stavební konstrukce.

Tepelný tok se může na určitých místech stavební konstrukce lišit do té míry, že na vnitřní ploše klesne teplota až pod teplotu rosného bodu. Teplota rosného bodu je hodnota, při které relativní vlhkost dosáhne 100 %. Při poklesu teploty na teplotu rosného bodu dochází ke vzniku kondenzace. Tato kondenzace může způsobovat vlhnutí stěn a vznik plísní, které jsou nebezpečné pro lidské zdraví.

Tepelné mosty významně ovlivňují vlastnosti stavebních konstrukcí. Tento vliv je důležité zohlednit při výpočtu tepelného odporu konstrukce a součinitele prostupu tepla. [15]

## 5.2 Kouty

Z technického hlediska jsou kouty velmi citlivým místem. Na obr. 21 je znázorněn průběh izoterm ve vnějším koutě tvořeném vnější i vnitřní stěnou. Jednorozměrné šíření tepla, znázorněné průběhem těchto izoterm ukazuje postupnou deformaci. Deformace teplotního pole nastává důsledkem různých velikostí ploch, z čehož plyne, že na vnější straně konstrukce dochází k intenzivnějšímu ochlazování a tím i poklesu vnitřní povrchové teploty v místě koutu. [15]



Obrázek 20: Znázornění průběhu izoterm tepelných toků ve vnějším koutě

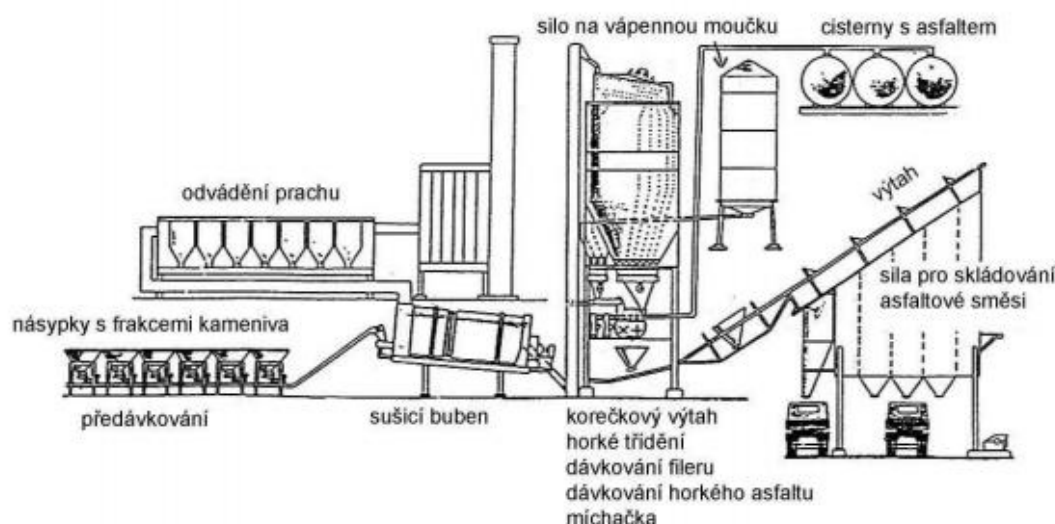
Zdroj: [15]

## 6 Obalovna asfaltových směsí

Význam pojmu obalovna asfaltových směsí vychází přímo ze samotného principu výroby.

Základní princip spočívá v tom, že různé frakce kameniva jsou obalovány asfaltovým pojivem. Obalovna asfaltových směsí je poměrně složité technologické zařízení pro výrobu asfaltových směsí. Výhradním českým výrobcem obaloven je společnost ASKOM a.s. se sídlem v Brně. [7]

### 6.1 Technologie výroby obalovaných živičných směsí



Obrázek 21: Schéma obalovny

Zdroj: [12]

#### Skládka kameniva

Kamenivo je velkokapacitními návěsy přiváženo z kamenolomu na obalovnu. V areálu obalovny je provedeno kontrolní zvážení materiálu a poté se drť vysype do příslušného boxu - jednotlivé frakce jsou označeny a je zabráněno jejich smíšení. Obalovna disponuje několika boxy, které jsou zastřešeny (zpravidla pro jemné frakce), díky čemuž je omezeno šíření polétavého prachu a zároveň se snižuje spotřeba plynu nutného k vysušení a ohřevu kameniva při výrobě. [7]

#### Zásobníky (podavače) studeného kameniva

Kolový nakladač s velkoobjemovou lžicí rozváží kamenivo (podle pokynů obsluhy velínu) z boxů do předem určených násypek, které jsou kalibrovány na danou frakci. Pod každou násypkou je krátký pásový dopravník s plynulou regulací rychlosti frekvenčními měniči, čímž lze poměrně přesně provést tzv. studené předdávkování. [8]

**Sušicí buben s hořákem**

Sběrné dopravníkové pásy dopravují kamenivo ze zásobníku do sušicího bubnu (pece). Rotaci sušicího bubnu zajišťují čtyři elektropohonem poháněné nosné kladky. Kamenivo postupuje proti směru plamene hořáku, jedná se o takzvané protiproudé sušení kameniva. Hořáky se liší dle druhů použitého paliva. Pro hořáky lze jako palivo použít například plyn, olej, propan-butan nebo také uhelný prach. Sušení kameniva zajišťují typově různé tvary lopatek uvnitř bubnu, čímž je zajištěno přesypání kameniva a následné sušení. [7]

**Korečkový elevátor**

Sušicí buben ústí do korečkového elevátoru, který pomocí kabelek upevněných na dvou řetězech horké kamenivo dopravuje na vrchol míchací věže. [8]

**Míchací věž - třídící box a zásobník horkého kameniva**

Na vrcholu míchací věže je osazeno třídící zařízení. Třídíč umožňuje pneumatické přepnutí klapky pro výrobu přes tzv. obtok mimo síta. Přes třídící box je celá věž odsávána filtračním zařízením. Třídíčem je horké kamenivo rozděleno do samostatných částí zásobníku horkého kameniva. [8]

**Dávkovací zařízení**

Ze zásobníku horkého kameniva jsou podle právě vyráběné receptury pneumaticky ovládanými klapkami dávkovány jednotlivé frakce kameniva do váhy kameniva. Navažování je prováděno automaticky dle zadané receptury a nevyžaduje žádný zásah obsluhy velínu. [8]

**Asfalt**

Nedílnou součástí obalovaných směsí je pochopitelně asfalt. Ten je dovážen v tekutém skupenství izolovanými cisternami při teplotě cca 170°C. Zubovým čerpadlem se asfalt dopravuje izolovaným potrubím do vyhřívaných izolovaných nádrží. Jednotlivé druhy asfaltu (rozdělené dle množství přidávaných aditiv) se skladují odděleně. Dávkovacím čerpadlem se asfalt dopravuje na váhu, a potom se vypočtené množství vstřikuje do míchačky. [8]

**Vápenná moučka a vratný (vlastní) prach**

Kromě kamenné drti a asfaltu se pro výrobu obalovaných směsí používá ještě vápenná moučka a vratný prach (tzv. filer). Vápenná moučka se dováží cisternami a stlačeným vzduchem je vháněna do sila. Ze sila je potom šnekovými dopravníky dávkována na samostatnou váhu fileru. [8]

**Míchačka**

Míchačka pomocí sad lopatek na dvou hřídelích zajišťuje dokonalé promísení jednotlivých složek tak, aby výsledkem byla homogenní asfaltová směs. Čas míchání mimo jiné značně ovlivňuje celkovou kapacitu obalovny (tj. jak velké množství směsi je obalovna schopna vyrobit za 1 hodinu). Proto je nezbytné věnovat míchačce potřebnou údržbu a kontrolovat stav lopatek i obložení. [8]

**Skipová (vozíková) dráha a zásobníky hotové směsi**

Výpustnou klapkou pod míchačkou je směs vysypána do vozíku. Navijákem nebo pohonem osy je vozík vytažen nad otvor v zásobníku hotové směsi a vysypán. Poté se vozík zase vrací zpět pod výpustný otvor míchačky. Obalovna disponuje podle kapacity výroby a požadavků provozovatele zásobníky o různých objemech pro uložení hotové směsi. Pod jednotlivé zásobníky potom dle pokynů obsluhy najíždí nákladní auta, na něž je nasypána hotová směs. Vozidla musí mít korby postříkány separačním olejem, jenž zabraňuje přilepení směsi na ocelovou korbu vozidla. [8]

**Expedice**

Od zásobníku jednotlivá vozidla odjíždí na tenzometrickou mostovou váhu. Obsluha váhy vystaví řidiči dodací list s pokyny pro přepravu horké směsi. Vozidlo totiž musí mít při odjezdu z areálu obalovny zaplachtovanou korbu pro omezení úniku tepla a zabránění šíření pachů z horké směsi. Zaplachtování vozidla usnadňuje lávka vedle váhy. [8]

**Filtrace (odprašování)**

Při výrobě (zejména při sušení) je obalovnou generováno poměrně velké množství prachu, který musí být účinně zachytáván. K tomu slouží hadicový filtr, jenž k regeneraci využívá stlačený vzduch. Zachycený prach je šnekovými a korečkovými dopravníky ukládán v samostatném síle, odkud jej lze v souladu s recepturou použít ve výrobě jako tzv. vratný prach. [8]



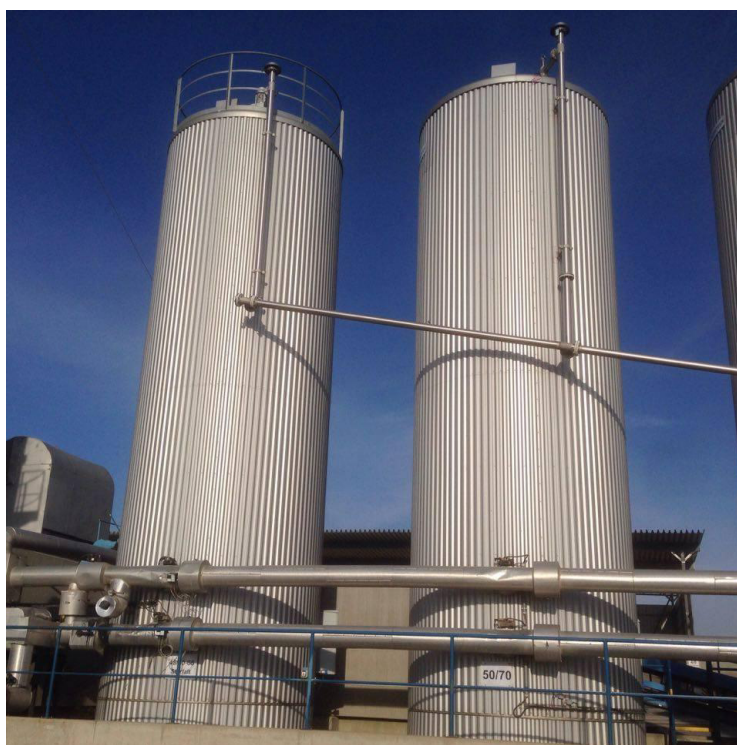
Obrázek 22: Obalovny ASKOM a.s.

Zdroj: [7]

## 6.2 Nádrže pro skladování asfaltových pojiv

Asfaltová pojiva jsou skladována ve speciálních izolovaných nádržích vybavených nepřímým ohřevem. Nejen obalovna ale tyto samostatné nádrže jsou velice složitým technologickým a energeticky náročným zařízením. Teplota skladování musí splňovat požadavky udané výrobcem pojiva, jelikož při vyšších teplotách dochází k degradaci termoplastického kaučuku.

Zásadní problémem je, že obalovny asfaltových směsí jsou v provozu každý den (průměrný denní provoz je okolo 5 hodin) 8 měsíců v roce (Duben - Listopad). Je tedy důležité asfaltová pojiva udržovat na požadovanou provozní teplotu, určenou pro výrobu asfaltových směsí. Tudíž jsou nádrže vytápěny prakticky 24 hodin denně. Kdyby tomu tak nebylo asfalt v nádrži a potrubí zatuhl. Opětovný ohřev na požadovanou teplotu je velice zdoluhavý proces, který je pro provozovatele obalovny náročný z energetického i ekonomického hlediska, protože dojde k zastavení výroby asfaltových směsí. [7]



**Obrázek 23:** Nádrž pro skladování asfaltových pojiv

**Zdroj:** Vlastní obrázek

Nádrže rozdělujeme do tří kategorií dle způsobu vyhřívání:

### 6.2.1 Elektricky vyhřívané nádrže

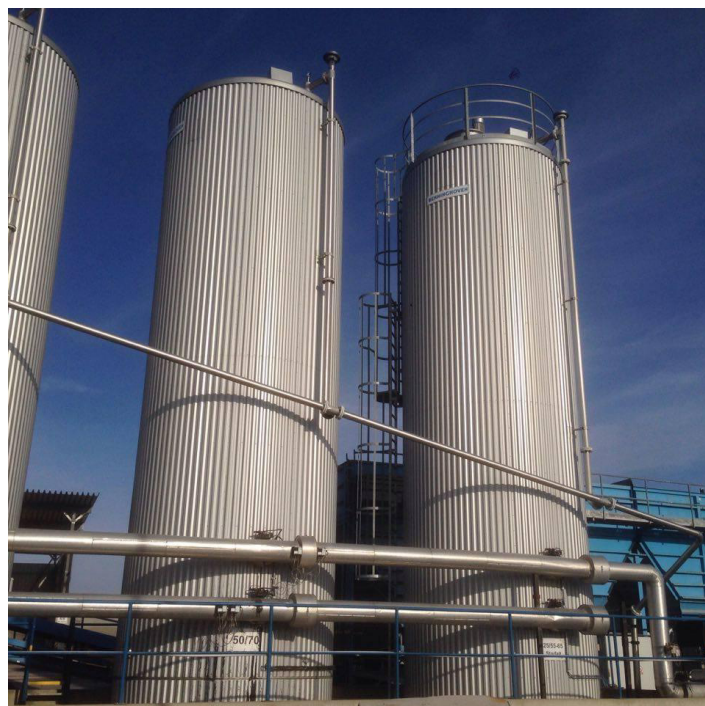
Nádrže a dopravní trasy jsou vyhřívány pomocí elektrických topných těles a topných kabelů. [7]



Specifikace	
Velikost	Zpravidla 60 nebo 80 m <sup>3</sup>
Tloušťka izolace	200 - 300 mm
Hustota izolace	65 nebo 80 kg/m <sup>3</sup>
Topný dnový kabel	Cca 8,9 kW
Hlavní topné těleso	Cca 25 kW
Topný kabel dopravní trasy	120-150 W/m
Velikost potrubí	DN 80 – DN 100
Tloušťka izolace potrubí	100 mm

Tabulka 3: Specifikace elektricky vyhřívané nádrže

Zdroj: [7]



Obrázek 24: Elektricky vyhřívaná nádrž

Zdroj: [7]



Obrázek 25: Topný dnový kabel

Zdroj: [7]



### 6.2.2 Termálním olejem vyhřívané nádrže

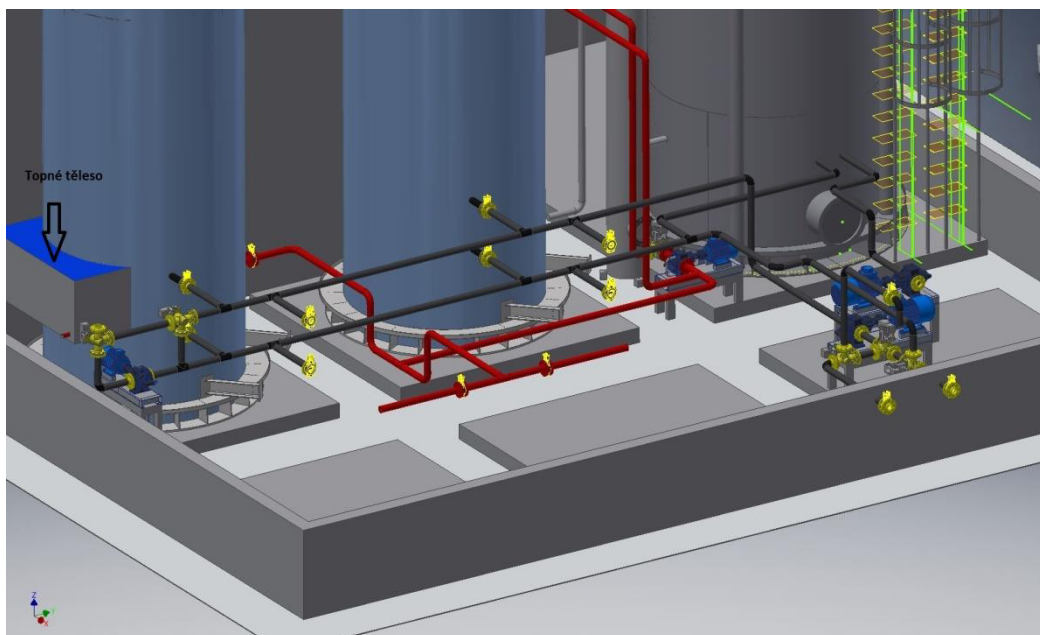
Hlavní topné těleso tvoří trubkový výměník, který má teplotonosnou plochu  $34 \text{ m}^2$  a objem 340 litrů termálního oleje. Asfaltové potrubní rozvody jsou konstrukčně řešeny tak, aby bylo umožněno protékání teplotonosného oleje potrubním mezikružím a tím následný ohřev asfaltového pojiva – tzv. dvouplášťové potrubní rozvody. Pro ohřev teplotonosného termálního oleje slouží kotelna o různých výkonech (350 kW, 450 kW, 690 kW). Výkon kotelny se dimenzuje s ohledem na velikost asfaltového hospodářství (počet zásobníků, délky dopravních tras apod.) [7]

### 6.2.3 Kombinovaně vyhřívané nádrže

Nádrž pro skladování asfaltových pojiv má kombinovaný ohřev (termální olej a elektrický ohřev). Hlavní topné těleso tvoří trubkový výměník (jako u nádrží vyhříváných termálním olejem). Dnové topné těleso tvoří elektrický kabel o výkonu 8,9 kW (viz obrázek 25). Asfaltové potrubí je v případě kombinovaně vyhříváných nádrží ohříváno termálním olejem a také elektrickým ohřevem viz obrázek 27. [7]



Obrázek 26: Kombinovaně vyhřívaná nádrž  
Zdroj: [7]



Obrázek 27: Schéma potrubního systému kombinovaně vyhříváných nádrží  
Zdroj: [7]

Obr. 27 znázorňuje kombinovaný ohřev nádrží a potrubních rozvodů asfaltu. Na obrázku zobrazené topné těleso je hlavní topný registr (olejový výměník), dnové topné těleso je řešeno topným elektrickým kabelem uvnitř nádrže.

Černě zbarvené asfaltové potrubní rozvody mezi nádržemi jsou vyhřívány elektrickým kabelem. Červeně zbarvené potrubní asfaltové rozvody jsou dvouplášťové vyhřívány termálním olejem. [7]

U všech druhů nádrží je použita stejná izolace a to minerální vlnou krytou hliníkovým plechem. Izolace potrubí je také zhotovena pomocí minerální vlny, ale je kryta pozinkovaným plechem.

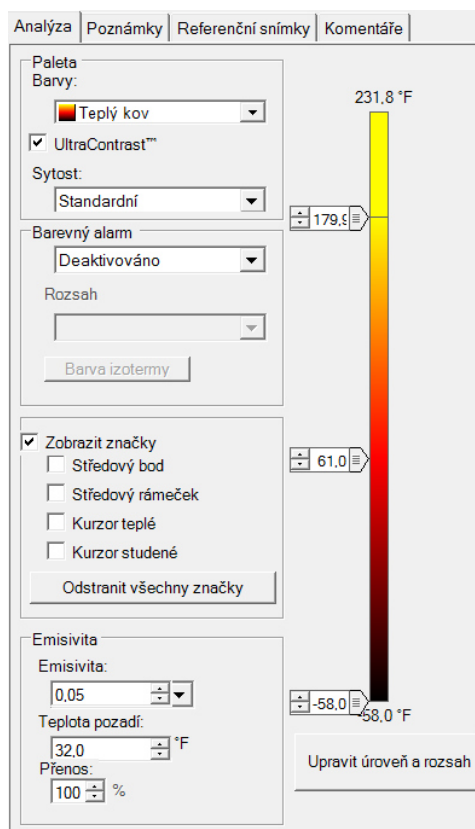
V současné době společnost ASKOM přechází na výrobu čistě elektricky vyhříváných nádrží. Elektricky vyhříváné nádrže nejsou zdaleka tolik složité na výrobu a především nemají negativní vliv na životní prostředí při úniku termálního oleje z olejového okruhu. Také jsou ekonomicky výhodnější z hlediska nákladů na provoz. [7]

## 7 Praktická část práce

Cílem této bakalářské práce bylo sebe a ostatní čtenáře seznámit s využitím termografie pro analýzu tepelných ztrát. Poté bylo mým úkolem nastudované znalosti aplikovat při analýze tepelných ztrát a navrhnout opatření ke snížení energetické náročnosti skladovacích nádrží pro asfaltová pojiva.

Praktické měření jsem provedl jediné dne 4. 12. 2015 na obalovně asfaltových směsí Líchovy u Příbrami ve spolupráci s p. Stanislavem Francem (Skanska a.s.). Především z důvodu toho, že se poté obalovny uzavíraly, jak již bylo zmiňováno dříve. Ke snímání jsem použil termovizní kameru FLUKE Ti40FT s 20mm objektivem. Skladovací nádrže pro asfaltová pojiva jsem nasnímal celé včetně veškerého potrubí. Snímků z toho měření bylo okolo 80, které jsem zpracovával pomocí programu SmartView. Okolní teplota při měření pohybovala okolo 0°C a byla změřena teplotním čidlem v osobním automobilu.

Po zpracování všech snímků z termovizní kamery jsem zjistil, že ne všechny snímky jsou čitelné a použitelné k dalšímu zpracování. Na samotných nádržích jsem objevil jeden dosti závažný únik teploty. Tento únik teploty byl vytvořen samotným únikem termálního oleje (určeným pro vyhřívání) z nádrže na její plášť, zapříčiněný nedbalostí obsluhy při odvzdušňování systému. Pro materiál nádrže, která je krytá hliníkovým plechem jsem volil hodnotu emisivity dle programu 0,05 (hliník leštěný). Teplý kov jsem nastavil jako paletu barev. Nejvyšší naměřená hodnota byla naměřena na horní části nádrže. Její hodnota odpovídala  $118,4^{\circ}\text{F} = 48^{\circ}\text{C}$  viz kurzor na obr. 29. Tento únik jsem vyhodnotil jako dosti závažný problém, nejen z hlediska energetické náročnosti, ale také z hlediska dopadu na životní prostředí. Tento únik je třeba neprodleně odstranit.



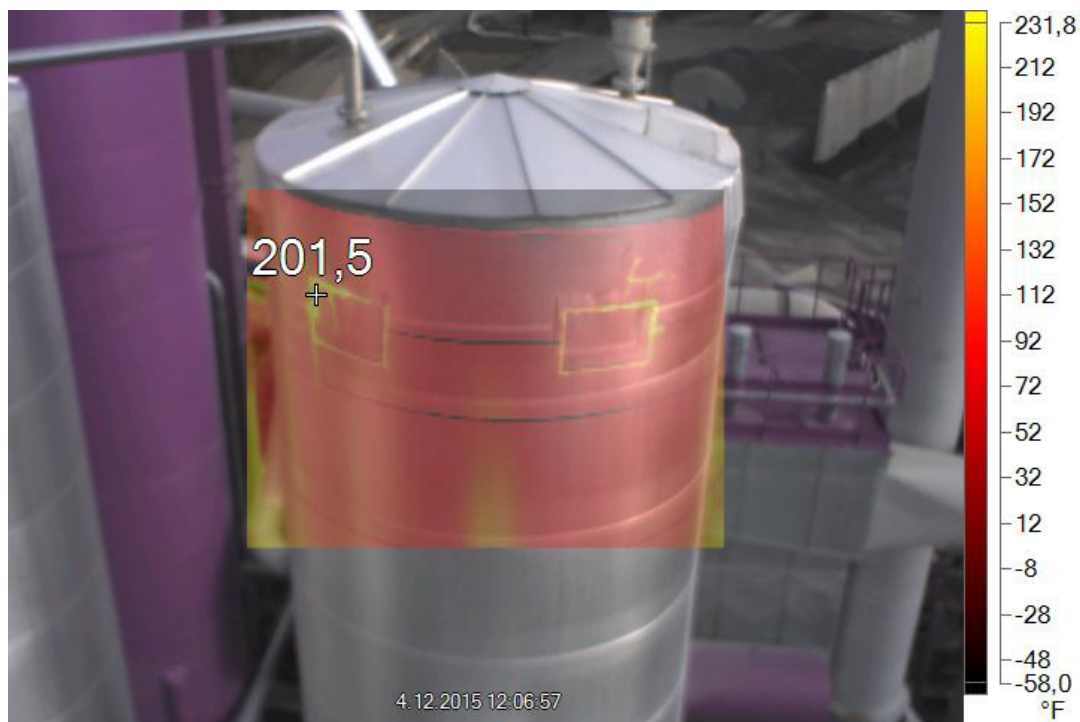
Obrázek 28: Nastavení programu Smartview



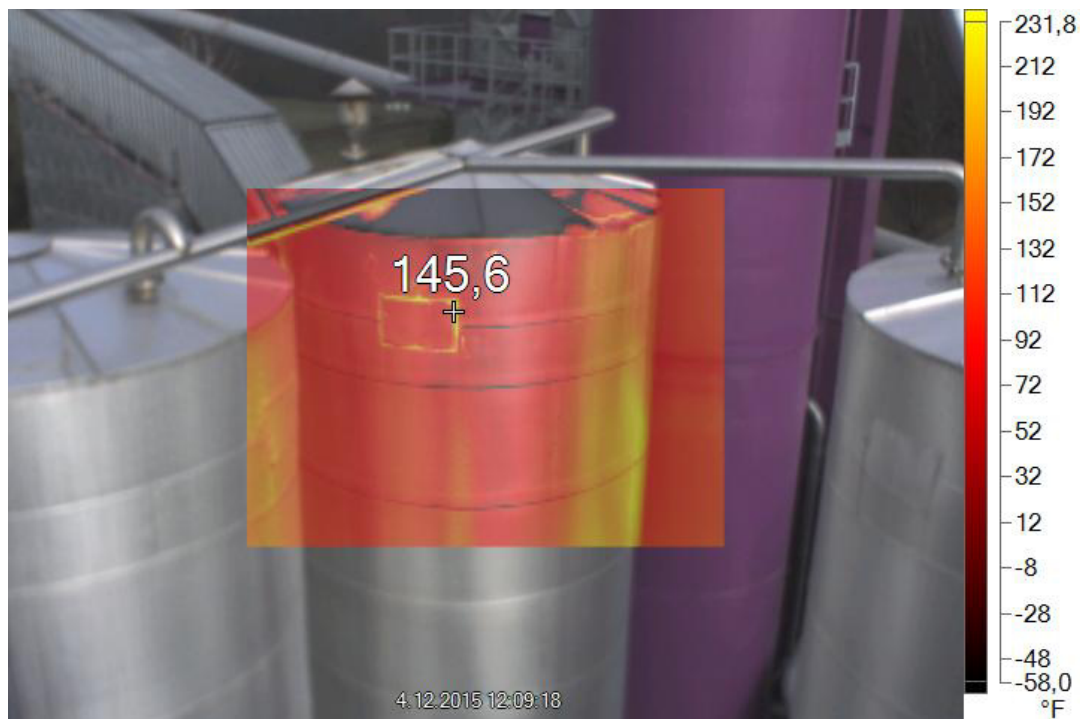
Obrázek 29: Únik termálního oleje

Další vysoké teploty na nádržích byly naměřeny také v horní části tzv. přeplátování. Zde byly umístěny držáky přepravních konzol, které se po montáži nádrže demontovaly a došlo tak k odizolování (viz obrázek 30, 31). Nastavení programu zůstalo stejné jako v předchozím případě úniku. I když jsou na tom přeplátování naměřené vysoké teploty

( $201,5^{\circ}\text{F} = 94^{\circ}\text{C}$  a  $145,6^{\circ}\text{F} = 63^{\circ}\text{C}$ ). V součtu s celkovou energetickou náročností celých nádrží, by tyto hodnoty mohly být zanedbatelné. Lze je však také eliminovat, když by k tomu přeplátování vůbec nedocházelo a plášť nádrže by byl v celku.



Obrázek 30: Přeplátování nádrže 1



Obrázek 31: Přeplátování nádrže 2

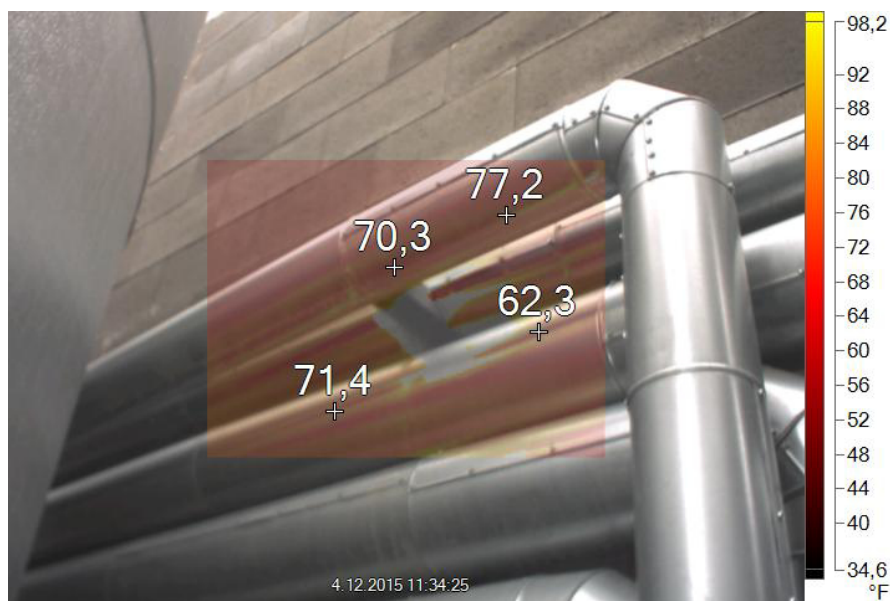
U obou těchto případů je však také důležité si uvědomit, že hodnoty mohou být zkreslené především kvůli velké vzdálenosti měření a v prvním případě také úhlu pohledu na nádrž. K ostatním zvýšeným teplotám na snímcích mohlo dojít vlivem odrazu teploty od sousedící nádrže.

Dosti zajímavý problém jsem však objevil na podpěrách potrubí pro dopravu asfaltového pojiva a termálního oleje do topného tělesa nádrže.



**Obrázek 32: Potrubí pro dopravu termálního oleje**

Potrubí je kryto pozinkovaným plechem, pro který jsem zvolil hodnotu emisivity 0,28 pro odečtení teploty potrubí. Teplota potrubí (viz obrázek 33) se pohybovala v rozmezí 23 - 30°C.



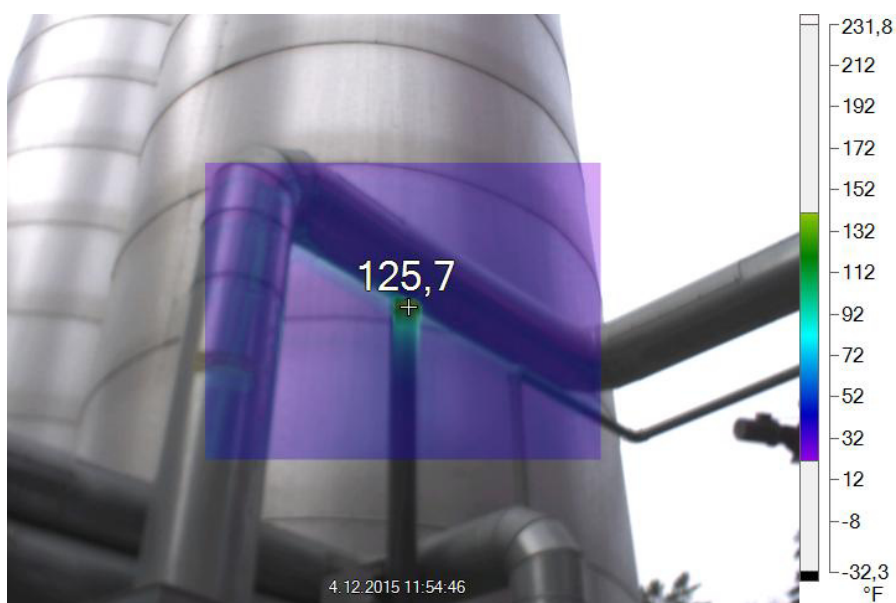
**Obrázek 33: Teplota na potrubí [°F]**



Poté jsem změnil hodnotu emisivity 0,96 pro ocel hrubého povrchu, ze které je podpěra konstruována. Nejvyšší naměřená hodnota na podpěře je  $97,6^{\circ}\text{F} = 52,1^{\circ}\text{C}$  (Obrázek 34).



Obrázek 34: Dopravní potrubí termálního oleje



Obrázek 35: Elektricky vyhřívané potrubí asfaltového pojiva do váhy obalovny s nejvyšší teplotou podpěry



**Obrázek 36: Dvouplášťové potrubí pro dopravu asfaltového pojiva (vyhříváné termálním olejem)**



**Obrázek 37: Dvouplášťové potrubí pro dopravu asfaltového pojiva (vyhříváné termálním olejem)**

Je evidentní, že mezi teplotou okolního prostředí a teplotou podpěr jsou dosti velké teplotní rozdíly. Těchto podpěr je na celkovém potrubí několik a v součtu by mohli mít velký dopad na energetickou náročnost potrubí a nádrží. Ideálním řešením by bylo zaizolování těchto podpěr, aby neodebíraly teplo potrubí. Druhou variantou by také mohla být volba jiného materiálu s jinou tepelnou vodivostí.

Poslední ze zajímavých úniků jsem našel na samotném potrubí pro dopravu termálního oleje. Jde o spoj dvou částí potrubí. Emisivita je opět nastavena na hodnotu 0,28 pozinkovaný plech a nejvyšší naměřená hodnota zde je 69,8°C.



**Obrázek 38: Únik ve spoji potrubí**

Z obr. 28 je vidět, že rozdíly teplot jsou v tomto případě také dosti vysoké. Kdyby takové teplotní rozdíly byly u všech spojů, v součtu by měly také dost vysoký vliv na energetickou náročnost. Ošetření tohoto problému by bylo zlepšení zateplení minerální vlnou například vlnou o nižší tepelné vodivosti.



## 8 Závěr

V úvodu této bakalářské práce je stručně shrnuta historie a teorie bezkontaktního měření teploty, také funkce a nastavení termovizní kamery. Dále jsou zde uvedeny základní principy a vztahy z oblasti přenosu tepla a tepelných ztrát budov. Následuje seznámení s funkcí obalovny a popis nádrží pro skladování asfaltových pojiv.

V poslední praktické části se zabývám analýzou tepelných ztrát na skladovacích nádržích. Pro tuto analýzu jsem provedl jediné měření 4. 12. 2015 na obalovně asfaltových směsí Líchovy u Příbrami ve spolupráci s panem Stanislavem Francem (Skanska a.s.). Pro praktické měření jsem použil termovizní kameru FLUKE Ti40FT s 20mm objektivem. Snímků jsem pořídil cca 80 a zpracovával jsem je v programu SmartView, který je součástí balíčku k termovizní kameře. Po zpracování všech těchto snímků jsem zjistil, že ne všechny snímky jsou použitelné k další analýze. Především proto, že měření nebylo v souladu s pravidly, která jsem až poté nastudoval v [17] a citoval je i v této bakalářské práci. Hlavní důvod jediného měření byl především ten, že obalovny asfaltových směsí jsou v provozu pouze 8 měsíců v roce (duben - listopad). Po mém měření byly obalovny uzavřeny. Ostatní snímky vhodné k analýze jsem roztřídil a řádně analyzoval. Dostal jsem se k několika velice zajímavým výsledkům.

Prvním dosti závažným objevem byl únik termálního oleje z nádrže na její plášť zapříčiněný nedbalostí obsluhy při odvzdušňování systému. Na plášti jsem naměřil teplotu 48°C. Teplota venkovního vzduchu byla okolo 0°C a byla naměřena teplotním čidlem v osobním automobilu. Teplotní rozdíl je tedy poměrně velký. Únik jsem klasifikoval jako dosti závažný a je nutné jej neprodleně odstranit. Tento únik může mít především dopad jak z hlediska energetické náročnosti, tak z hlediska dopadu na životní prostředí.

Druhým zajímavým místem na nádržích bylo místo takzvaného přeplátování, kde byly umístěny přepravní konzoly. Konzoly byly při montáži nádrže demontovány a bylo provedeno odizolování. V této části jsem naměřil nejvyšší hodnotu 63°C. V součtu s velikostí energetické náročnosti celé obalovny si myslím, že by tyto úniky tepla mohly být zanedbatelné.

Třetím nejzajímavějším místem byly podpěry dopravního potrubí asfaltového pojiva. Podpěry jsou vyrobené z konstrukční oceli. Nejvyšší hodnota byla naměřena 52,1°C. Těchto podpěr je na potrubí několik desítek. V součtu by mohly mít velký vliv na energetickou náročnost.

Posledním místem byl spoj potrubí, na kterém jsem naměřil teplotu 69,8°C na malé ploše. Tento únik nemusí být tolik závažným. Kdyby však takových úniků bylo na potrubí více, v součtu by mohly mít velký vliv na energetickou náročnost.

Použití termokamery v praxi pro mě bylo velkou zkušeností. Problematikou energetické náročnosti a celkovou problematikou obaloven asfaltových směsí bych se chtěl nadále zabývat. Ve spolupráci s firmou ASKOM a.s. a Skanska a.s. také nadále pokračovat. Především téma této bakalářské práce dále rozvinout do práce diplomové a řešit daný problém na obalovně.

## 9 Přehled literatury

- [1] Zpravodaj pro měření a regulaci: Bezdotykové měření teploty č.1, vydání 2 [online].[cit.2016-02-08].  
Dostupné z: [http://www.omegaeng.cz/literature/PDF/techinfo\\_1.pdf](http://www.omegaeng.cz/literature/PDF/techinfo_1.pdf)
- [2] *Centrum termografie* [online]. 2016 [cit. 2016-03-19].  
Dostupné z: <http://www.centrumtermografie.cz/>
- [3] PAVELEK, Milan, Eva JANOTKOVÁ a Josef ŠTĚTINA. Vizualizační a optické měřicí metody [online]. Druhé. Brno, 2007 [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/optika/>
- [4] *Termovize* [online]. 2016 [cit. 2016-02-08].  
Dostupné z: <http://www.termovize.com/>
- [5] MAREČEK, Jan, Kateřina KUBENKOVÁ, Miloslav ŠINDEL a Filip ČMIEL. *Pozemní stavitelství III* [online]. První. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006 [cit. 2016-03-19]. ISBN 978-80-248-1470-4.
- [6] Tsisystem s.r.o. [online]. 2015 [cit. 2016-02-08].  
Dostupné z: <http://www.tsisystem.cz/>
- [7] *Askom* [online]. 2012 [cit. 2016-02-08].  
Dostupné z: <http://www.askom.cz/>
- [8] *Obalovna Ostrava s.r.o.* [online]. 2012 [cit. 2016-02-08].  
Dostupné z: <http://obalovna-ostrava.cz/>
- [9] *Úvod do principů termografie* [online]. [cit. 2016-03-19].  
Dostupné z:  
[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=65646](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65646)
- [10] *User manual Fluke Ti55* [online]. 2007 [cit. 2016-02-08].  
Dostupné z: <http://www.fluke.com/fluke/vnen/home/default.htm>
- [11] Termokamera: Chyby a omyly při měření [online]. [cit. 2016-03-19]. Dostupné z:  
<http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/chyby-a-omyly-pri-mereni-termokamerou/>

- [12] HÝZL, Petr. Praktická aplikace v pozemních komunikacích: Asfaltové směsi. Brno, 2006.
- [13] TROJAN, M. Standardní nejistoty měření. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 85 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marie Havlíková.
- [14] *Enterprise Europe Network při Centru pro regionální rozvoj ČR* [online]. 2011 [cit.2016-04-20]. Dostupné z: [http://www.enterprise-europe-network.cz/files/dokums\\_raw/4-ce\\_1219845979.pdf](http://www.enterprise-europe-network.cz/files/dokums_raw/4-ce_1219845979.pdf)
- [15] ČUPR, Pavel. Název: Metoda konečných prvků pro úlohy přenosu tepla. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 58 s., 1 příloha. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
- [16] TERMOMECHANIKA: 15. základy přenosu tepla [online]. VUT Brno [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: [http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/termo/15\\_Prenos.pdf](http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/termo/15_Prenos.pdf)
- [17] BALARAS, C.A. a A.A. ARGIRIOU. Infrared thermography for building diagnostics. *Energy and Buildings*. **2002**, 171-183. ISSN 0378-7788
- [18] ELCNER, J. Porovnání výpočtu tepelných ztrát dle ČSN 06 0210 a ČSN EN 12831. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Košner, Ph.D.

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Lidské oko jako infračervený teploměr .....	18
Obrázek 2: Rozptyl infračerveného záření .....	19
Obrázek 3: Stefanův-Boltzmannův zákon.....	20
Obrázek 4: Wienův posunovací zákon.....	20
Obrázek 5: Planckův vyzařovací zákon .....	21
Obrázek 6: Energetická rovnováha objektu .....	21
Obrázek 7: Spektrální distribuce .....	22
Obrázek 8: Realizace černého tělesa pomocí dutin.....	22
Obrázek 9: Rozsah spektra .....	23
Obrázek 10: Využití bezkontaktního měření teploty ve stavebnictví .....	24
Obrázek 11: Využití bezkontaktního měření teploty ve zdravotnictví .....	24
Obrázek 12: Princip funkce termálního zobrazovače .....	25
Obrázek 13: LCD displej.....	26
Obrázek 14: Základní části termálního zobrazovače .....	27
Obrázek 15: Program SmartView .....	27
Obrázek 16: Příklad tabulky protokolu o termovizním měření.....	31
Obrázek 17: Schéma vedení tepla stěnou.....	32
Obrázek 18: Příklady tepelných mezních vrstev .....	33
Obrázek 19: Schéma prostupu tepla ve výměníku .....	34
Obrázek 20: Znázornění průběhu izoterm tepelných toků ve vnějším koutě.....	35
Obrázek 21: Schéma obalovny.....	36
Obrázek 22: Obalovny ASKOM a.s.....	38
Obrázek 23: Nádrž pro skladování asfaltových pojiv .....	39
Obrázek 24: Elektricky vyhřívaná nádrž.....	40
Obrázek 25: Topný dnový kabel .....	40
Obrázek 26: Kombinovaně vyhřívaná nádrž.....	41
Obrázek 27: Schéma potrubního systému kombinovaně vyhřívaných nádrží .....	41
Obrázek 28: Nastavení programu Smartview .....	43
Obrázek 29: Únik termálního oleje .....	43
Obrázek 30: Přepřátování nádrže 1 .....	44
Obrázek 31: Přepřátování nádrže 2 .....	44
Obrázek 32: Potrubí pro dopravu termálního oleje .....	45
Obrázek 33: Teplota na potrubí [°F] .....	45
Obrázek 34: Dopravní potrubí termálního oleje .....	46
Obrázek 35: Elektricky vyhřívané potrubí asfaltového pojiva do váhy obalovny s nejvyšší teplotou podpěry .....	46
Obrázek 36: Dvouplášťové potrubí pro dopravu asfaltového pojiva (vyhřívané termálním olejem) .....	47
Obrázek 37: Dvouplášťové potrubí pro dopravu asfaltového pojiva (vyhřívané termálním olejem) .....	47
Obrázek 38: Únik ve spoji potrubí .....	48

**Seznam tabulek**

Tabulka 1: Příklad specifikace kamery Fluke Ti55 .....	28
Tabulka 2: Hodnoty emisivity běžných materiálů .....	29
Tabulka 3: Specifikace elektricky vyhřívané nádrže .....	40

## Seznam symbolů

Symbol	Rozměr	Veličina
$W$	$Wm^2$	hustota zářivého toku
$\delta$	$Wm^{-2}K^{-4}$	Stefan - Boltzmannova konstanta
$T$	K	absolutní teplota tělesa
$\lambda_m$	$\mu m$	vlnová délka s maximální radiací
$b$	$\mu mK$	Wienova konstanta
$e$	J	energie záření
$h$	Js	Planckova konstanta
$f$	Hz	frekvence záření
$\dot{q}$	$Wm^{-2}$	hustota tepelného toku
$\lambda$	$Wm^{-1}K^{-1}$	součinitel tepelné vodivosti
$T_w$	K	teplota povrchu obtékaného tělesa
$T_\infty$	K	teplota tekutiny v dostatečné vzdálenosti od povrchu
$T_H$	K	teplota teplé tekutiny
$T_C$	K	teplota studené tekutiny
$U$	$Wm^{-2}K^{-1}$	součinitel prostupu tepla
$R_t$	$m^2KW^{-1}$	odpor konstrukce při přestupu tepla